

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВОДОРОДОУПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПАЛЛАДИЕВОЙ ПЛАСТИНКИ

Любименко Е.Н.

Руководитель – профессор, д.т.н. Гольцов В.А.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

e-mail: goltsov@physic.dgtu.donetsk.ua

Внедренные атомы водорода вызывают расширение кристаллической решетки металла. Поэтому любые концентрационные неоднородности водорода приводят к появлению в твердом теле внутренних водородных концентрационных (ВК) напряжений [1]. Вследствие этого в неравновесных условиях в системах металл–водород имеет место явление водородоупругости [1]. Если ВК напряжения не вызывают внутренней пластической деформации и соответственно не развивается водородофазовый наклеп, то в этом случае в системах метал–водород явление водородоупругости имеет место «в чистом виде» [2].

В работе была поставлена задача модернизировать установку для прямого наблюдения водородоупругой деформации палладиевой пластинки при температурах до 350°C, и провести пробный эксперимент по водородоупругой деформации палладиевой пластинки.

Исследования водородоупругой деформации при одностороннем и резком насыщении водородом и последующей дегазации проводили на пластине технически чистого палладия. Из листа палладия прокатали фольгу толщиной 0.29 мм и вырезали образец в виде пластинки размером 68x5.5x0.29 мм. Образец отжигали в вакууме при температуре 700°C в течение одного часа и охлаждали с печью до комнатной температуры. Во время отжига образец помещали в камеру на плоской подложке из нержавеющей стали. После этого одну сторону образца покрывали медной пленкой электролитическим способом в растворе серной кислоты с медным купоросом в течении 30 секунд с плотностью тока 4А/дм. Вторую сторону палладиевой пластины предохраняли от покрытия медью во время электролиза, для этого ее покрывали цапун-лаком. Электролиз проводили при комнатной температуре. Толщина медного покрытия составила 0,75 мкм.

Для проведения эксперимента использовали принципиально модернизированную водородо–вакуумную установку. Установка состоит из следующих блоков:

- рабочая камера из нержавеющей стали;
- вакуумная часть, включающая диффузионный насос и термопарный вакуумметр ВТ-2А-П;
- блок хранения, диффузионной очистки и подачи водорода. Этот блок включает палладиевый фильтр очистки водорода, баллоны для хранения технического и диффузионно-очищенного водорода, систему редукторов и вентилей;

– блок нагрева образца и автоматического регулирования температуры. Блок содержит электропечь, термопару, прибор высокоточного регулирования температуры ТРЦ-02+;

– блок для наблюдения *in situ* за изгибом образца и для измерения величины его прогиба. Блок включает специальное окно рабочей камеры и катетометр КМ-8.

Основные характеристики водородо–вакуумной установки:

- | | |
|---|-------------------------------|
| - остаточное давление газов в рабочей камере | 1,33 Па |
| - интервал изменения давлений водорода в рабочей камере | $(10^3 - 2,5 \times 10^6)$ Па |
| - интервал изменения температуры образца | 20–450°C |
| - точность поддержания температуры | $\pm 1^\circ\text{C}$ |
| - точность измерения стрелы прогиба образца | ± 0.02 мм |

Описанная водородо-вакуумная установка позволяет проводить бароупругое нагружение образцов водородом, наблюдать и измерять стрелу прогиба консольно закрепленной пластинки в ходе эксперимента.

Образец одним концом закрепляли горизонтально в рабочей камере водородо–вакуумной установки таким образом, чтобы его верхняя сторона была покрыта медью. Соответственно, наблюдаемые экспериментально прогибы пластины были направлены вверх. Смещение свободного конца пластинки под воздействием водорода наблюдали через окно рабочей камеры.

После монтажа образца в камере для стабилизации его упруго напряженного состояния проводили 4 термоцикла, нагревали и охлаждали образец в вакууме от температуры 170°C до комнатной температуры. После этих термоциклов образец не реагировал на дальнейшие изменения температуры. Стабилизированный образец нагревали до температуры 170°C в вакууме (132 Па), которая в процессе эксперимента поддерживалась постоянной и выдерживали в течение 20 минут.

Во время эксперимента осуществляли быстрый напуск 0,1МПа диффузионно-очищенного водорода в рабочую камеру. Далее в ходе изотермического эксперимента постоянно наблюдали *in situ* за поведением образца. Результаты эксперимента при 170°C представлены на рисунке 1.

Как видно из рисунка после повышения давления водорода в камере до 0,1МПа со скоростью $3 \cdot 10^{-3}$ МПа/с стрела прогиба образца сначала в течении 30с интенсивно увеличивается от нуля до максимального значения, равного +2,29 мм. По мере дальнейшего насыщения образца стрела прогиба постепенно уменьшается и через 15 минут образец практически возвращается к равновесному состоянию – смещение составило +0,07мм. Далее в процессе насыщения в течении следующих 50 мин, образец практически возвращается в исходное состояние и остаточное формоизменение $y_{\text{ост}}$ составляет +0,02мм.

Рис. 1. Временная зависимость стрелы прогиба образца при его одностороннем и резком насыщении водородом, изобарической выдержке и при последующей дегазации.

При дегазации образца (рис.1) в течение 50с происходит полный сброс давления водорода. При этом наблюдается подобная вышеописанная, но обратного знака картина. В начальный момент времени имеет место максимальный по величине изгиб пластины и отрицательное значение стрелы прогиба составляет $-1,74\text{мм}$. Далее по мере дегазации пластинка постепенно выпрямляется. В процессе дегазации в течении 45 минут образец практически достигает исходного равновесия, конечное отклонение составляет $-0,045\text{мм}$.

Итак, в работе экспериментально показано, что при одностороннем насыщении водородом и последующей дегазации палладиевой пластинки, возникающие градиенты концентрации водорода вызывают возникновение и релаксацию водородных концентрационных напряжений первого рода, которые не превосходят предела упругости металла. При этом наблюдаются соответствующие обратимые упругие изгибы пластинки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Goltsov V.A. Fundamentals of Hydrogen Treatment of Materials/ Progress in Hydrogen Treatment of Materials/ Ed. Goltsov V.A. Donetsk-Coral Gables: Kassiopeya Ltd., 2001.P. 3-37.
2. Гольцов В.А., Редько А.Л., Глухова Ж. Л. Термодинамические основы явления водородоупругости / Физика металлов и металловедение. 2003,Т95, №1. С.21-26.